



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 05 701.3

Anmeldetag: 7. Februar 2003

Anmelder/Inhaber: XTREME technologies GmbH, Jena/DE

Bezeichnung: Anordnung zur Erzeugung von EUV-Strahlung
mit hohen Repetitionsraten

IPC: H 05 G, G 21 K

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Schmidt C.', written in a cursive style.

Schmidt C.

Anordnung zur Erzeugung von EUV-Strahlung mit hohen Repetitionsraten

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum Erzeugen von EUV-Strahlung auf Basis elektrisch ausgelöster Gasentladungen, bei der zur Strahlungserzeugung eine
5 Vakuumkammer vorgesehen ist, die eine optische Achse für die erzeugte EUV-Strahlung beim Verlassen der Vakuumkammer aufweist, mit hohen Repetitionsraten und hohen mittleren Leistungen, vorzugsweise für den Wellenlängenbereich von 13,5 nm.

10 Quellen für EUV- bzw. weiche Röntgenstrahlung haben gute Aussichten als Strahlungsquellen für die nächste Generation in der Halbleiter-Lithographie. Solche gepulst arbeitenden Strahlungsquellen können auf unterschiedlicher Weise Strahlung emittierendes Plasma erzeugen, auf Basis einer Laseranregung oder einer elektrisch ausgelösten Gasentladung. Auf letztere ist die vorliegende Erfindung gerichtet.

15

Mit EUV-Strahlung (vornehmlich im Wellenlängenbereich von 13,5 nm) sollen Strukturbreiten zwischen 25 bis 50 nm erzeugt werden. Um in der Halbleiter-Lithographie einen genügend hohen Durchsatz (Throughput) von Wafern pro Stunde zu erzielen, sind für die einzusetzenden EUV-Quellen „in-band“-Strahlungsleistungen
20 von 600 – 700 W in einem Raumwinkel von 2π -sr geplant. Als „in-band“-Strahlungsleistung wird dabei der von der Abbildungsoptik verarbeitbare spektrale Anteil der insgesamt emittierten Strahlung bezeichnet.

Eine charakteristische Größe für eine EUV-Quelle ist die sogenannte Konversionseffizienz, die als Quotient aus „EUV-in-band“-Leistung (in 2π -sr) und der
25 im Entladungssystem dissipierten elektrischen Leistung definiert ist. Ihr Wert liegt typischerweise bei etwa 1 bis 2 %. Das bedeutet, im Elektrodensystem für die Erzeugung der Gasentladung werden elektrische Leistungen von ca. 50 kW umgesetzt. Das führt zu einer außerordentlich starken Aufheizung der Elektroden.

30 Experimentelle Befunde zeigen, dass die Lebensdauer der Elektroden durch zwei Effekte begrenzt wird:

- a) Elektrodenabbrand infolge des Stromflusses ($I_{\max} \approx 30 - 50 \text{ kA}$, Dauer $\approx 500 \text{ ns}$) während eines Entladungsvorganges. Es findet eine lokale Überhitzung und Verdampfung in einer sehr dünnen Oberflächenschicht statt.
- b) Elektrodenabbrand durch Schmelzen und Verdampfen des Elektrodenmaterials bei hohen mittleren Eingangsleistungen.

Der Beitrag a) stellt eine prinzipielle Grenze dar. Dieser Beitrag kann nur durch Einsatz von Elektrodenmaterialien geringster Zerstäubungsneigung (Sputterraten) und/oder durch Reduktion der Stromdichte durch Wahl geeigneter Elektrodengeometrien reduziert werden. Der Beitrag b) wird regelmäßig durch gute Kühlung verringert.

Bei hoher Impulsfolgefrequenz, d.h. bei hohen Repetitionsraten der EUV-Quelle, ist aber noch ein weiterer Aspekt zu berücksichtigen.

Während eines Anregungsimpulses wird die Elektrodenoberfläche gemäß Beitrag a) sehr aufgeheizt (siehe auch Fig. 1). Wegen der endlichen Dicke (z.B. 5 mm) der Wolframschicht der Elektroden und der endlichen Geschwindigkeit des Wärmeflusses zur eigentlichen Wärmesenke (abhängig von Material und Geometrie der Elektrode beträgt die Abkühlzeit einige $10 \mu\text{s}$) passiert es, dass die nächste Entladung bereits stattfindet, wenn die Elektrodenoberfläche noch nicht wieder die Kühlmitteltemperatur erreicht hat. Die Elektrodenoberfläche wird also während einer Folge von Entladungen weiter aufgeheizt. Abschätzungen zeigen, dass für eingangsseitige Impulsenergien von 10 J bei Repetitionsraten von mehr als 5 kHz (kontinuierlicher Betrieb) die Oberflächentemperaturen der Elektroden permanent (und nicht nur periodisch bei jeder einzelnen Entladung) über der Schmelztemperatur liegen würden. Das bedeutet praktisch die Unmöglichkeit eines kontinuierlichen Betriebes einer gasentladungsgepumpten EUV-Quelle für Repetitionsraten $> 5 \text{ kHz}$.

Ein Versuch, Elektrodenerosionen zu vermindern, wurden von M. W. McGeoch unternommen. In der Druckschrift WO 01/91523 A1 wird eine Photonenquelle beschrieben, bei der eine Vielzahl von Teilchenstrahlen erzeugt wird, die über kugelförmige Elektrodenflächen verteilt so angeordnet sind, dass sie sich in einem Punkt, der sogenannten Entladungszone, treffen. Die in einer Vakuumkammer erzeugten Ionenstrahlen werden über konzentrische (zylindrische oder sphärische) Elektrodenanordnungen mit kreisförmigen Durchlässen, die einen linearen Beschleunigungskanal für jeden Ionenstrahl ergeben, zum Zentrum der

Entladungszone hin beschleunigt und teilweise entladen. Im Zentrum der Anordnung entsteht dadurch ein dichtes heißes Plasma, das EUV- bzw. weiche Röntgenstrahlung abgibt.

Nachteilig ist dabei, dass der Aufwand für die genaue Zentrierung erheblich groß ist und das so erzeugte Plasma in der zentralen Entladungszone nicht zu reproduzierbaren Strahlungsverhältnissen führt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine neue Möglichkeit zur Erzeugung von EUV-Strahlung auf Basis eines gasentladungsgepumpten Plasmas zu finden, die EUV-Impulsfolgen mit einer Wiederholrate von > 5 kHz bei Impulsenergien ≥ 10 mJ/sr zu generieren gestattet, ohne einen erhöhten Elektrodenverschleiß in Kauf nehmen zu müssen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einer Anordnung zum Erzeugen von EUV-Strahlung auf Basis elektrisch ausgelöster Gasentladungen, bei der zur Strahlungserzeugung eine Vakuumkammer vorgesehen ist, die eine Symmetrieachse aufweist, die eine optische Achse für die erzeugte EUV-Strahlung beim Verlassen der Vakuumkammer darstellt, dadurch gelöst, dass in der Vakuumkammer mehrere baugleiche Quellenmodule, die jeweils ein Strahlung emittierendes Plasma erzeugen und eine gebündelte EUV-Strahlung aufweisen, gleichverteilt um die optische Achse angeordnet sind, um aufeinanderfolgend Strahlungsimpulse bereitzustellen, wobei die gebündelten Strahlen der einzelnen Quellenmodule Strahlachsen aufweisen, die einander in einem Punkt der optischen Achse schneiden, dass eine um die optische Achse drehbar gelagerte Reflektoreinrichtung vorhanden ist, die die aus den Quellenmodulen bereitgestellte gebündelte Strahlung zeitlich aufeinanderfolgend in Richtung der optischen Achse ablenkt, und dass eine Synchronisationseinrichtung zur zirkular aufeinanderfolgenden Triggerung der Quellenmodule in Abhängigkeit von der aktuellen Drehstellung der Reflektoreinrichtung und der über die Drehgeschwindigkeit vorgewählten Impulsfolgefrequenz vorhanden ist.

Vorteilhaft weist die Reflektoreinrichtung als rotierendes reflektierendes optisches Bauteil einen ebenen Spiegel auf. In einer besonders zweckmäßigen Variante ist das rotierende reflektierende Bauteil ein optisches Gitter, das vorzugsweise spektral selektiv für die gewünschte, von nachfolgenden Optiken übertragbaren Bandbreite

der EUV-Strahlung ist. Es ist zweckmäßig, die rotierende Reflektoreinrichtung geeignet zu kühlen.

Die Quellenmodule können beliebige herkömmlichen EUV-Quellen (z.B. Z-Pinch-, Theta-Pinch-, Plasmafokus- oder Hohlkatodenanordnung) enthalten und jeweils
 5 separate Hochspannungsladekreise aufweisen. Vorteilhaft weisen die einzelnen Quellenmodule jedoch einen gemeinsamen Hochspannungslademodul auf, der von der Synchronisationseinrichtung getriggert, sukzessive die Gasentladung in den einzelnen Quellenmodulen auslöst. Dabei kann die Synchronisationseinrichtung einfach direkt mit dem Drehmechanismus (z.B. Inkrementalgeber) gekoppelt sein.

- 10 Vorteilhaft weist die Synchronisationseinrichtung einen positionsempfindlichen Detektor je Quellenmodul auf, der von einem über die Reflektoreinrichtung reflektierten Laserstrahl getroffen wird, wenn eine für Auslösung eines Gasentladungsimpulses eines Quellenmoduls geeignete Drehstellung der Reflektoreinrichtung erreicht ist. Dabei enthält die Synchronisationseinrichtung in
 15 einer zweckmäßigen Variante einen Laserstrahl, der entlang der optischen Achse entgegengesetzt zur erzeugten EUV-Strahlung eingekoppelt und an der Reflektoreinrichtung reflektiert wird, und für jeden Quellenmodul einen zugeordneten Detektor, der für den zugeordneten Quellenmodul die Triggerung der Gasentladung auslöst. In einer anderen Ausführung besitzt die
 20 Synchronisationseinrichtung für jeden Quellenmodul einen zugeordneten Laserstrahl sowie einen positionsempfindlichen Detektor.

Die Quellenmodule bestehen vorteilhaft aus EUV-Quelle, Debrisfilter und Kollektoroptik. Dabei weist jeder Quellenmodul vorzugsweise eine EUV-Quelle mit zugehörigem Hochspannungsladekreis auf. Es kann sich aber als zweckmäßig
 25 erweisen, dass alle Quellenmodule einen gemeinsamen Hochspannungslademodul haben, der in Abhängigkeit von der von der Drehstellung der Reflektoreinrichtung abgeleiteten Triggerung aufeinanderfolgend die Gasentladung auslöst.

- In einer weiteren vorteilhaften Gestaltung enthalten die Quellenmodule je eine EUV-Quelle und eine mit Debrisfilter und Sammeloptik ausgestattete Optikeinheit, wobei
 30 eine für alle Quellenmodule gemeinsame Kollektoroptik der Reflektoreinrichtung nachgeordnet auf der optischen Achse angeordnet ist.

Zweckmäßig ist in der erfindungsgemäßen Anordnung eine solche Anzahl von Quellenmodulen vorgesehen, bei der für eine resultierende Impulsfolgefrequenz bei

aufeinanderfolgender Ansteuerung der Quellenmodule die Impulsfolgefrequenz jedes einzelnen Quellenmoduls nicht höher als 1500 Hz ist.

5 Mit der erfindungsgemäßen Lösung ist es möglich, EUV-Strahlung auf Basis eines gasentladungsgepumpten Plasmas zu erzeugen, bei der die EUV-Impulsfolgen mit einer Wiederholrate von > 5 kHz bei Impulsenergien ≥ 10 mJ/sr generiert werden können, ohne dass ein erhöhter Elektrodenverschleiß in Kauf genommen werden muss.

10 Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung der Erfindung mit vier einzelnen Quellenmodulen,

15 Fig. 2: eine Gestaltungsvariante der Erfindung mit einem ebenen rotierenden Spiegel bei drei Quellenmodulen,

Fig. 3a: eine Temperaturkurve der Elektrodenoberfläche bei impulsförmiger elektrischer Anregung,

20 Fig. 3b: die minimale Temperatur auf der Elektrodenoberfläche für Folgefrequenzen von 1 kHz und 2 kHz,

Fig. 4: eine bevorzugte Ausführung der Erfindung mit rotierendem Gitter bei sechs Quellenmodulen.

25 In einer Grundvariante, wie sie in Fig. 1 dargestellt ist, weist die erfindungsgemäße Anordnung mehrere (hier beispielhaft vier) Quellenmodule 1 auf, die jeweils an sich eigenständig und auf beliebige herkömmliche Weise (Z-Pinch-, Theta-Pinch-, hohlkatodengetriggerte Pinch- oder Plasmafokus-Anordnungen) EUV-Strahlung erzeugen. Jeder dieser Quellenmodule 1 arbeitet z.B. mit einer Impulsfolgefrequenz (Repetitionsrate) von 1500 Hz. Bei einer solchen Repetitionsrate liegt die

30 Oberflächentemperatur im kontinuierlichen Betrieb mit etwa 1500 K wesentlich unter der Schmelztemperatur von Wolfram, mit dem die Elektrodenoberflächen herkömmlich (z.B. 5 mm dick) überzogen sind.

Die optischen Strahlengänge aller Quellenmodule 1 sind so auf eine rotierende Reflektoreinrichtung 2 gerichtet, dass die gebündelte EUV-Strahlung der einzelnen

Quellenmodule 1 zeitlich gleichmäßig aufeinanderfolgend auf eine gemeinsame optische Achse 4 der gesamten Anordnung abgelenkt wird. Das geschieht vorteilhaft unter streifender Reflexion, wie es in der Schnittzeichnung im rechten Teil von Fig. 1 angedeutet ist. Wie die linke Darstellung von Fig. 1 in einer Draufsicht zeigt, befindet sich die rotierende Reflektoreinrichtung 2 innerhalb einer Vakuumkammer 5, in der die Quellenmodule 1 geeignet rotationssymmetrisch und gleichverteilt angebracht und integriert sind, und dreht bei einer Anordnung mit vier Quellenmodulen 1 z.B. mit 1500 U/s (die zugleich der Repetitionsrate jedes Quellenmoduls 1 entspricht) um eine Rotationsachse 21, die mit der gemeinsamen optischen Achse 4 zusammenfällt.

10 Durch die Drehbewegung der Reflektoreinrichtung 2 wird nacheinander von den einzelnen Quellenmodulen 1 gebündelte Strahlung reflektiert und auf eine (nicht gezeichnete) nachfolgend angeordnete Beleuchtungsoptik für die technische Anwendung gerichtet.

Die rotierende Reflektoreinrichtung 2 ist – um die erforderlichen Drehzahlen (im hier gewählten Beispiel 90.000 U/min) zu gewährleisten – mit einem ausgewuchteten, magnetgelagerten Drehmechanismus 22 ausgestattet, wie er beispielsweise prinzipiell aus Ultrazentrifugen oder auch Drehspiegelanordnungen für Güteschalter von Lasern bekannt ist, wobei Drehzahlen bis zu mehreren hunderttausend Umdrehungen heute technisch präzise realisierbar sind.

20 Die synchronisierte Triggerung der einzelnen Quellenmodule 1 kann durch Direkterfassung der Drehstellung der rotierenden Reflektoreinrichtung 2 mittels einer Synchronisationseinrichtung 3 erfasst werden. Diese triggert entsprechend der Stellung der Reflektoreinrichtung 2, in der ein vom Quellenmodul 1 ausgehender Leitstrahl über die Reflektoreinrichtung 2 in Richtung der optischen Achse 4 reflektiert würde, die Auslösung einer Gasentladung zur Plasma- und Strahlungserzeugung in dem betroffenen Quellenmodul 1.

Durch die fortlaufende Drehung der Reflektoreinrichtung 2 werden nacheinander alle vier Quellenmodule 1 ausgelöst und geben bei einer Impulsfolgefrequenz von 1500 Hz der einzelnen Quellenmodule 1 – infolge ihrer Gleichverteilung um die Drehachse 21 – am Ausgang der Vakuumkammer 5 in Richtung der gemeinsamen optischen Achse 4 die gewünschte EUV-Strahlung mit einer Repetitionsrate von 6 kHz ab. Das bedeutet, dass höhere Impulsfolgefrequenzen (> 5 kHz), wie sie von der Halbleiterindustrie bei hohen durchschnittlichen Strahlungsleistungen gefordert werden, problemlos erreicht werden können, ohne im quasi-kontinuierlichen Betrieb

eine Schmelzung des Elektrodenmaterials, und damit einen erhöhten Elektrodenverschleiß in Kauf nehmen zu müssen.

In einer weiteren Variante, wie sie in Fig. 2 dargestellt ist, weist die
 5 erfindungsgemäße Anordnung drei Quellenmodule 1 auf, die jeweils aus einer EUV-
 Quelle 11, einem Debrisfilter 12 und einer Kollektroptik 13 bestehen und
 eigenständig auf herkömmliche Weise EUV-Strahlung erzeugen. Jede dieser Quellen
 11 arbeitet z.B. mit einer Impulsfolgefrequenz (Repetitionsrate) von 2 kHz, womit
 eine resultierende Repetitionsrate von 6 kHz erreicht wird. Bei dieser hohen
 10 Einzelrepetitionsrate liegt die Oberflächentemperatur im kontinuierlichen Betrieb
 schon erheblich höher (als im ersten Beispiel gemäß Fig. 1 oder der bevorzugten
 Variante gemäß Fig. 4), jedoch noch deutlich unter der Schmelztemperatur von
 Wolfram, wie man aus der Zusammenschau der Figuren 3a und 3b ersehen kann. Fig.
 3a stellt dabei den zeitlichen Verlauf der Oberflächentemperatur für eine quasi-
 15 kontinuierliche Impulsfolge mit 10 J Eingangsleistung bei einer Folgefrequenz von
 1 kHz für eine mit 5 mm Wolfram beschichtete Elektrode dar. Fig. 3b zeigt dazu die
 Abhängigkeit der Temperatur für Repetitionsraten von 1 kHz (durchgezogene Linie)
 und 2 kHz (gestrichelte Linie), so dass eine Impulsfolgefrequenz von 2 kHz für die
 angegebenen Parameter noch vertretbar erscheint, obwohl eine Sättigung dieser
 20 Temperaturkurve in langen Impulsfolgen erst bei höheren Impulszahlen eintritt.

Als rotierende Reflektoreinrichtung 2 wird in diesem Fall ein ebener Spiegel 23, der
 sich auf der Rotationsachse 21 dreht, verwendet. Der Spiegel 23 kann für streifende
 Strahlungsreflexion mit einem für den EUV-Bereich üblichen Material (wie z.B.
 25 Rhodium, Paladium, Molybdän o.ä.) oder aber mit einem Mehrschichtspiegelsystem
 (üblicherweise aus Mo/Si-Schichten) beschichtet sein.

Die synchronisierte Triggerung der einzelnen Quellenmodule 1 wird in diesem Beispiel
 durch optische Erfassung der Drehstellung des Spiegels 23 besonders genau mittels
 30 eines positionsempfindlichen Detektors 31 und eines Laserstrahls 32 vorgenommen:
 der Laserstrahl 32 wird zweckmäßig am reflektierenden Element der rotierenden
 Reflektoreinrichtung 2, das auch die Einkopplung der EUV-Strahlung aus den
 Quellenmodulen 1 in Richtung der optischen Achse 4 vornimmt, nämlich dem Spiegel
 23, reflektiert. Dazu genügt es, einen Laserstrahl 32 als Pilotlaserstrahl entlang der

optischen Achse 4 einzukoppeln, so dass er über die rotierende Reflektoreinrichtung 2 zeitlich aufeinanderfolgend in Richtung der einzelnen Quellenmodule 1 abgelenkt wird. Zu den drei Quellenmodulen 1 werden drei positionsempfindliche Detektoren 31 so positioniert, dass die Quellentriggerung bzw. die EUV-Strahlungsemission im richtigen Zeitpunkt der Drehstellung des Spiegels 23 erfolgt. Beim Erreichen der übereinstimmenden Winkellage des rotierenden Spiegels 23 mit einem der Quellenmodule 1 wird der diesem Quellenmodul 1 zugeordnete Detektor 31 vom reflektierten Laserstrahl 32 getroffen und triggert für diesen Quellenmodul 1 die Auslösung der die EUV-Strahlung erzeugenden Gasentladung. Die Triggerungsgenauigkeit („Triggerjitter“), die sich aus Laufzeitschwankungen der elektronischen Kette vom Detektor 31 über die Triggerschaltung und die Anstiegszeit der elektrischen Ladespannung bis zur Gasentladung der einzelnen EUV-Quelle 11 ergibt, bestimmt die räumlichen Fluktuationen des Quellenbildes im Zwischenfokus 41, der sich zum Zwecke der weiteren Abbildung zweckmäßig im Lichtweg nach dem Spiegel 23 und vor der Beleuchtungsoptik für die Anwendung befindet.

Die EUV-Quellen 11 sind die eigentlichen Entladungseinheiten zur Plasmaerzeugung. Diese enthalten in der Regel jeweils einen eigenen elektrischen Hochspannungsladekreis (in Fig. 2 nicht explizit gezeigt). Der positionsempfindliche Detektor 31 ist in diesem Beispiel jeweils direkt im Quellenmodul 1 integriert und löst die Triggerung der ihm zugehörigen Quelle 11 aus. Da jedoch jeweils zeitlich nacheinander die Auslösung der Gasentladung der einzelnen Quellen 11 erfolgt, ist ein einziger Hochspannungsladekreis für alle Quellenmodule 1, wie es nachfolgend zu Fig. 4 beschrieben ist, auch in diesem Beispiel eigentlich ausreichend.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel – entsprechend Fig. 4 – ist so gestaltet, dass sechs Quellen 11 und sechs Optikeinheiten 14, die sowohl ein Debrisfilter und eine Sammeloptik enthalten, sechs Quellenmodule 1 bilden, von denen jedoch nur die in einer Schnittebene durch die optische Achse 4 gegenüberliegenden Quellenmodule 1 gezeigt sind. Die übrigen vier Quellenmodule 1 sind gleichverteilt auf einer Kreislinie die senkrecht und spiegelsymmetrisch die Zeichenebene durchstößt angeordnet.

Die mittels der Optikeinheiten 14 gebündelte Strahlung aus den Quellenmodulen 1 wird in diesem Fall auf ein rotierendes optisches Gitter 24 gerichtet. Das Gitter 24, das – wie zu Fig. 1 beschrieben – auf einem magnetgelagerten Drehmechanismus 22 (in Fig. 4 nicht gezeichnet) auf einer Rotationsachse 21 angebracht ist, reflektiert die

Strahlung in eine nachgeordnete Kollektoroptik 6, die in diesem Fall nur einmal auf der gemeinsamen optischen Achse 4 vorhanden ist. Diese Kollektoroptik 6, die die Anforderungen an die Optikeinheiten 14 in den Quellenmodulen 1 auf den Status von Debrisfiltern und Hilfsoptiken zur Strahlungsbündelung reduziert und somit die

5 Kosten senkt, ist im optischen Strahlengang zwischen rotierendem Gitter 24 und einer nachfolgenden Beleuchtungsoptik für die Anwendung angeordnet. Als Gitter 24 wird zweckmäßig eine Art von Reflexionsgittern eingesetzt, die als EUV-Bandpassfilter zur Erzielung spektraler Reinheit (spectral purity filter) gebräuchlich sind (z.B. im Wellenlängenbereich zwischen 5 und 20 nm. Die Verwendung des

10 Gitters 24 als konkrete Realisierung der Reflektoreinrichtung 2 hat damit den Vorteil, dass das Gitter 24 neben den sehr guten Reflexionseigenschaften zusätzlich als spektrales Filter zur Reduktion der sogenannten „Out-of-band“-Strahlung wirkt.

Die Synchronisation übernimmt für jeden Quellenmodul 1 ein separates Paar aus

15 Laserstrahl 33 und positionsempfindlichem Detektor 31, die durch ein Seitenfenster in die Vakuumkammer eingekoppelt sind. Die Laserstrahlen 33 werden vorzugsweise von Laserdioden preiswert bereitgestellt, so dass durch die Mehrzahl der Laserstrahlen 33 kein erheblicher Kostenaufwand entsteht. Zum Zwecke der Erläuterung sind die gezeichneten Detektoren 31 in Fig. 4 mit D₁ und D₄ bezeichnet,

20 um die Anordnung um die optische Achse 4 herum zu verdeutlichen und die Zuordnung für die Triggerung des Hochspannungslademoduls 34 zu erleichtern.

Wie bereits oben erwähnt, ist es aufgrund der aufeinanderfolgenden Auslösung der Gasentladung in den einzelnen Quellenmodulen 1 möglich, die Hochspannungsaufladung zentral auszuführen. Dazu ist in Fig. 4 ein einziger Hochspannungslademodul

25 34 vorgesehen, der mit allen Quellenmodulen 1 in Verbindung steht und durch zugeordnete Triggerung von einer Synchronisationseinrichtung 3 (d.h. einem der Detektoren 31 mit zugehörigem Laserstrahl 33) lediglich die zutreffende EUV-Quelle 11 entsprechend der Drehstellung des Gitters 24 auflädt. Durch angedeutete Zuleitungen von den Detektoren 31, die mit der Kennzeichnung D₁ und D₄ in der

30 Zeichenebene, mit den Bezeichnungen D₂ und D₃ oberhalb und mit D₅ und D₆ unterhalb der Zeichenebene liegen, wird dem Hochspannungslademodul 34 jeweils ein Trigger-Eingangssignal bereitgestellt. Daraufhin leitet letzterer die Spannungsaufladung ein und gibt die entsprechende Zuleitung zu den mit Q₁ bis Q₆ gekennzeichneten EUV-Quellen 11 frei, so dass in Abhängigkeit von der durch den

Detektor 31 erkennt die Drehstellung des Gitters 24 für die zugeordnete Quelle 11 die Gasentladung und damit ein Strahlungsimpuls ausgelöst wird.

5 In Fig. 4 ist die konkrete Situation dargestellt, dass der mit D_1 bezeichnete Detektor 31 ein Signal an den Hochspannungslademodul 34 abgibt, da das Gitter 24 (dargestellt als durchgehende schräggestellte Linie zur Rotationsachse 21). Damit generiert der Hochspannungslademodul 34 die Ladespannung und gibt diese für den mit Q_1 gekennzeichneten Quellenmodul 1 frei, dessen Strahlung somit das Gitter 24 trifft und über die Filterwirkung des Gitters 24 die gewünschte Bandbreite der EUV-Strahlung („in-band“-Strahlung) in die auf der optischen Achse 4 befindliche Kollektoroptik 6 ablenkt. Analoges ist für den D_4 -Detektor 31 für die Triggerung der mit Q_4 bezeichneten Quelle 11 für die gestrichelte Position des Gitters 24 aus Fig. 4 entnehmbar.

15 In diesem Beispiel arbeitet jede der sechs EUV-Quellen 11 mit einer Impulsfolgefrequenz (Repetitionsrate) von 1 kHz. Bei dieser Repetitionsrate liegt die Oberflächentemperatur im kontinuierlichen Betrieb bei etwa 1300 K (\ll Schmelztemperatur von Wolfram), wie man aus Fig. 3a für die angegebenen Randbedingungen ersehen kann. Die in Fig. 3b verzeichnete durchgezogene Sättigungskurve für Impulsfolgefrequenzen von 1 kHz zeigt dazu die vorteilhafte
20 Begrenzung der Elektroden temperatur auch für lange Impulsfolgen (quasi-kontinuierlicher Betrieb), wobei die Gesamtanordnung in der vorstehend beschriebenen Variante eine Repetitionsrate von 6 kHz für den Anwender bereitstellt.

Bezugszeichenliste

	1	Quellenmodul
	11	EUV-Quelle
5	12	Debrisfilter
	13	Kollektoroptik
	14	Optikeinheiten
	2	rotierende Reflektoreinrichtung
10	21	Rotationsachse
	22	Drehmechanismus
	23	Spiegel
	24	Gitter
15	3	Synchronisationseinrichtung
	31	Detektor
	32	zentraler Laserstrahl
	33	Laserstrahlen
	34	Hochspannungslademodul
20		
	4	optische Achse
	41	Zwischenfokus
	5	Vakuumkammer
25		
	6	gemeinsame Kollektoroptik

Patentansprüche

1. Anordnung zum Erzeugen von EUV-Strahlung auf Basis elektrisch ausgelöster Gasentladungen, bei der zur Strahlungserzeugung eine Vakuumkammer vorgesehen ist, die eine Symmetrieachse aufweist, die eine optische Achse für die erzeugte EUV-Strahlung beim Verlassen der Vakuumkammer darstellt, dadurch gekennzeichnet, dass
- in der Vakuumkammer mehrere baugleiche Quellenmodule (1), die jeweils ein Strahlung emittierendes Plasma erzeugen und eine gebündelte EUV-Strahlung aufweisen, gleichverteilt um die optische Achse (4) angeordnet sind, um aufeinanderfolgend Strahlungsimpulse bereitzustellen, wobei die gebündelten Strahlen der einzelnen Quellenmodule (1) Strahlachsen aufweisen, die einander in einem Punkt der optischen Achse (4) schneiden,
 - eine um die optische Achse (4) drehbar gelagerte Reflektoreinrichtung (2) vorhanden ist, die die aus den Quellenmodulen (1) bereitgestellte gebündelte Strahlung zeitlich aufeinanderfolgend in Richtung der optischen Achse (4) ablenkt, und
 - eine Synchronisationseinrichtung (3) zur zirkular aufeinanderfolgenden Triggerung der Quellenmodule (1) in Abhängigkeit von der aktuellen Drehstellung der Reflektoreinrichtung (2) und der über die Drehgeschwindigkeit vorgewählten Impulsfolgefrequenz vorhanden ist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflektoreinrichtung (2) als rotierendes reflektierendes optisches Bauteil einen ebenen Spiegel (23) aufweist.
3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflektoreinrichtung (2) als rotierendes reflektierendes optisches Bauteil ein optisches Gitter (24) aufweist.
4. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Gitter (24) spektral selektiv für die gewünschte, von nachfolgenden Optiken (6) übertragbaren Bandbreite der EUV-Strahlung ist.

5. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die rotierende Reflektoreinrichtung (2) geeignet gekühlt wird.
6. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Quellenmodule (1) separate Hochspannungsladekreise aufweisen.
7. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Quellenmodule (1) einen gemeinsamen Hochspannungslademodul (34) aufweisen, der von der Synchronisationseinrichtung (3) getriggert, sukzessive die Gasentladung in den einzelnen Quellenmodulen (1) auslöst.
8. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisationseinrichtung (3) mit dem Drehmechanismus (22) gekoppelt ist.
9. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisationseinrichtung (3) einen positionsempfindlichen Detektor (31) aufweist, der von einem über die Reflektoreinrichtung (2) reflektierten Laserstrahl (32; 33) getroffen wird, wenn eine für Auslösung eines Gasentladungsimpulses eines Quellenmoduls (1) geeignete Drehstellung der Reflektoreinrichtung (2) erreicht ist
10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisationseinrichtung (3) einen Laserstrahl (32), der in Richtung der optischen Achse (4) entgegengesetzt zur erzeugten EUV-Strahlung eingekoppelt und an der Reflektoreinrichtung (2) reflektiert wird, und für jeden Quellenmodul (1) einen zugeordneten Detektor (31), der für das zugeordnete Quellenmodul (1) die Triggerung der Gasentladung auslöst, aufweist.
11. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisationseinrichtung (3) für jeden Quellenmodul (1) einen zugeordneten Laserstrahl (33) sowie einen positionsempfindlichen Detektor (31) aufweist.

12. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
die Quellenmodule (1) aus EUV-Quelle (11), Debrisfilter (12) und Kollektoro-
ptik (13) zusammengesetzt sind
- 5 13. Anordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass
die Quellenmodule (1) eine EUV-Quelle (11) mit zugehörigem
Hochspannungsladekreis enthalten.
- 10 14. Anordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass
alle Quellenmodule (1) einen gemeinsamen Hochspannungslademodul (34)
aufweisen, der in Abhängigkeit von der von der Drehstellung der
Reflektoreinrichtung (2) abgeleiteten Triggerung aufeinanderfolgend die
Gasentladung auslöst.
- 15 15. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
die Quellenmodule (1) je eine EUV-Quelle (11) und eine mit Debrisfilter und
Sammeloptik ausgestattete Optikeinheit (14) enthalten, wobei eine für alle
Quellenmodule (1) gemeinsame Kollektoro-
ptik (6) auf der optischen Achse (4) der
Reflektoreinrichtung (2) nachgeordnet ist.
- 20 16. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
eine solche Anzahl von Quellenmodulen (1) vorgesehen ist, dass für eine
resultierende Impulsfolgefrequenz bei aufeinanderfolgender Ansteuerung der
Quellenmodule (1) die Impulsfolgefrequenz jedes einzelnen Quellenmoduls (1)
25 nicht höher als 1500 Hz ist.

– Hierzu 4 Seiten Zeichnungen –

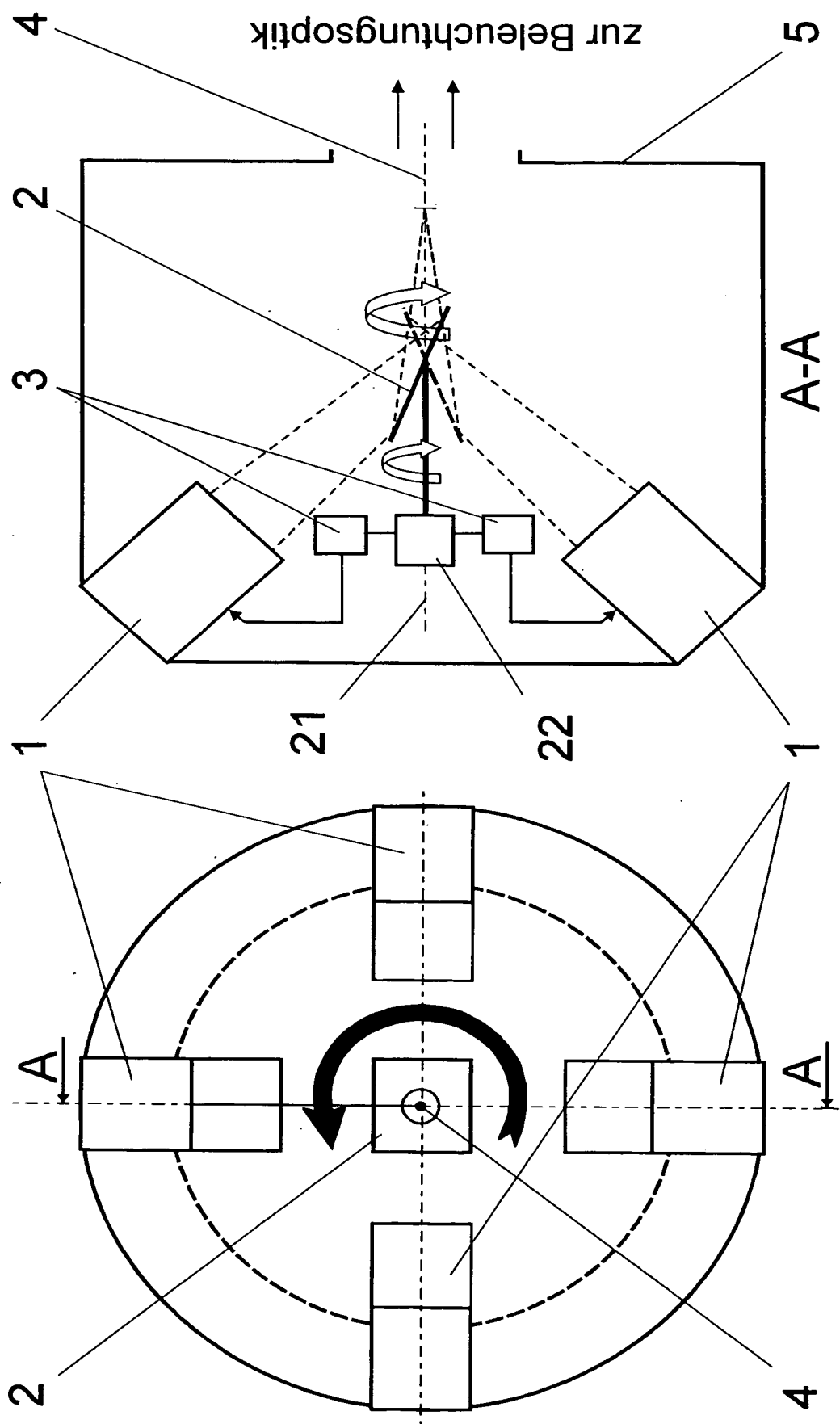


Fig 1

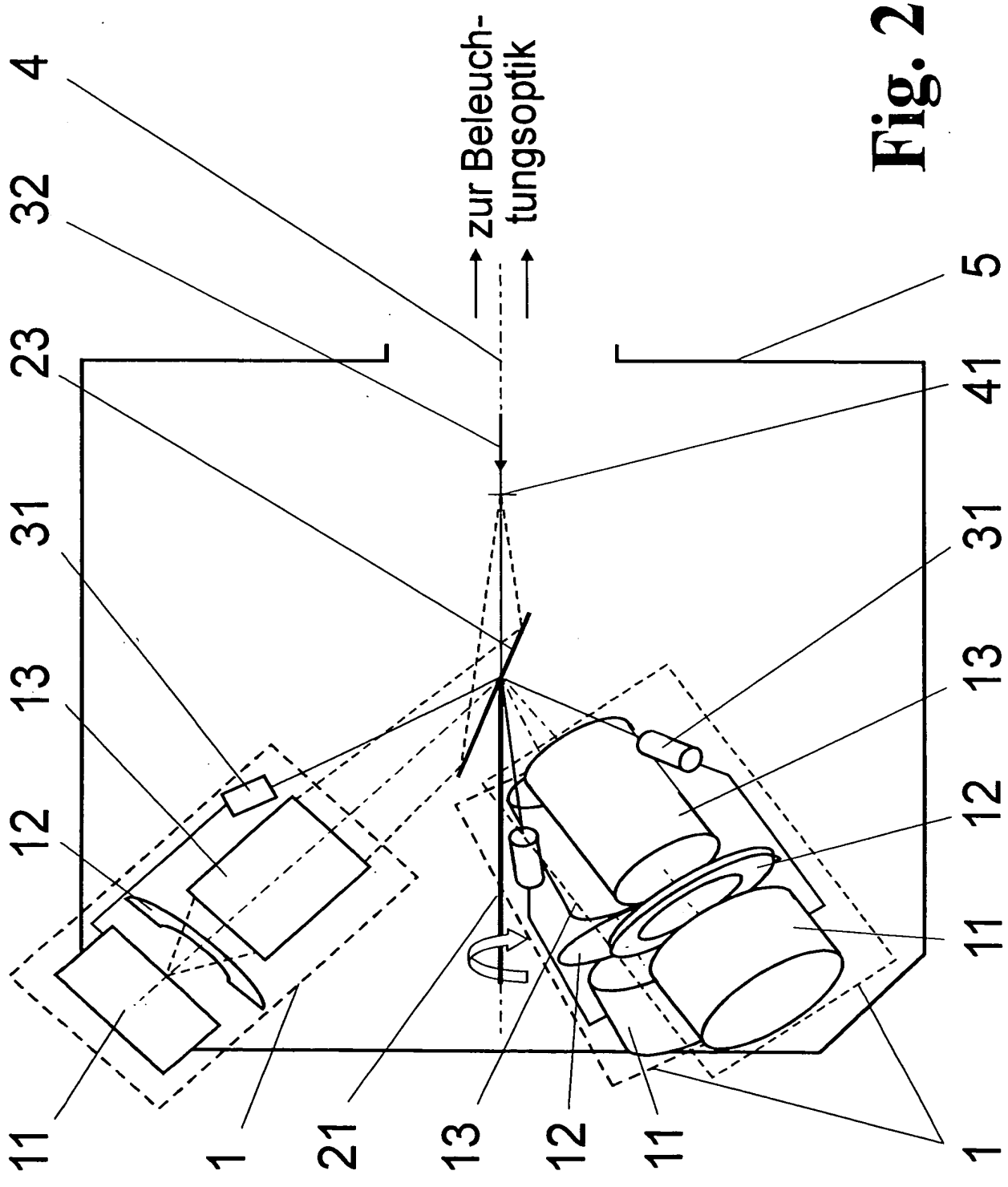


Fig. 2

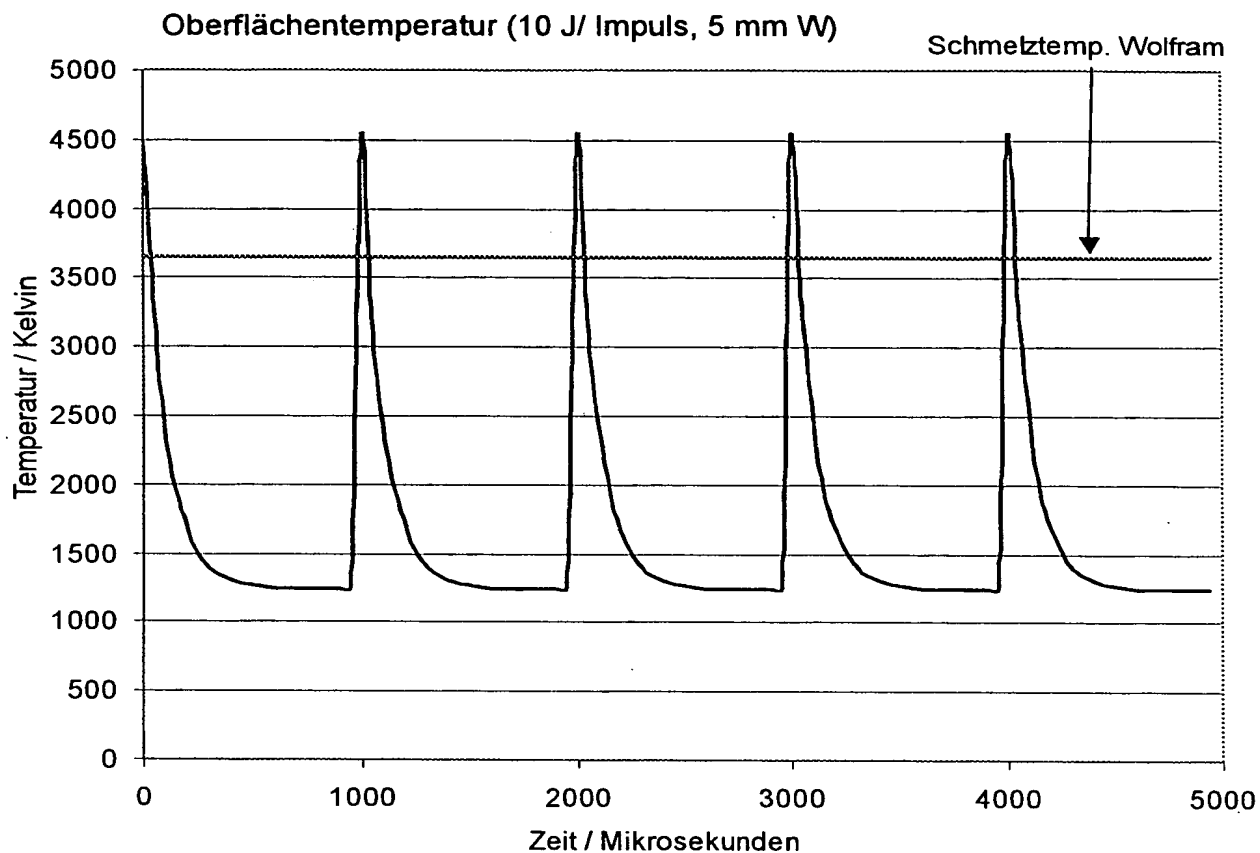


Fig. 3a

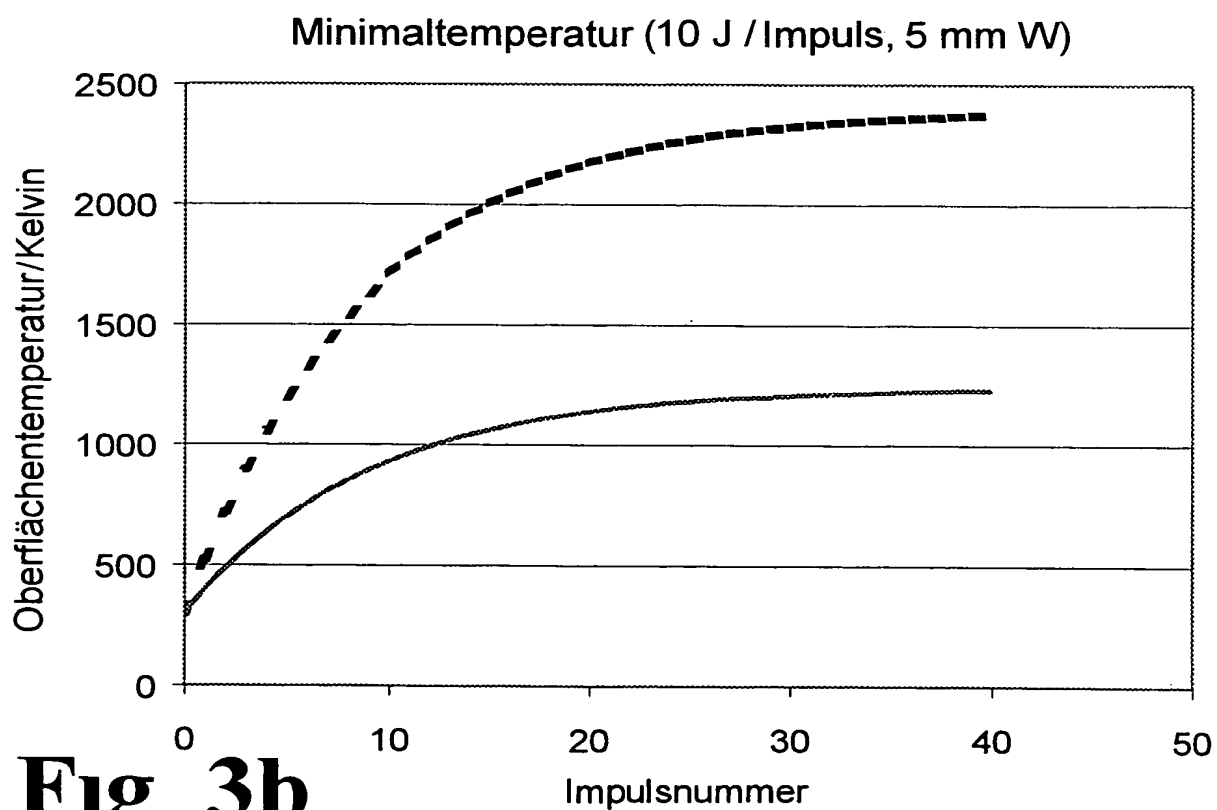


Fig 3b

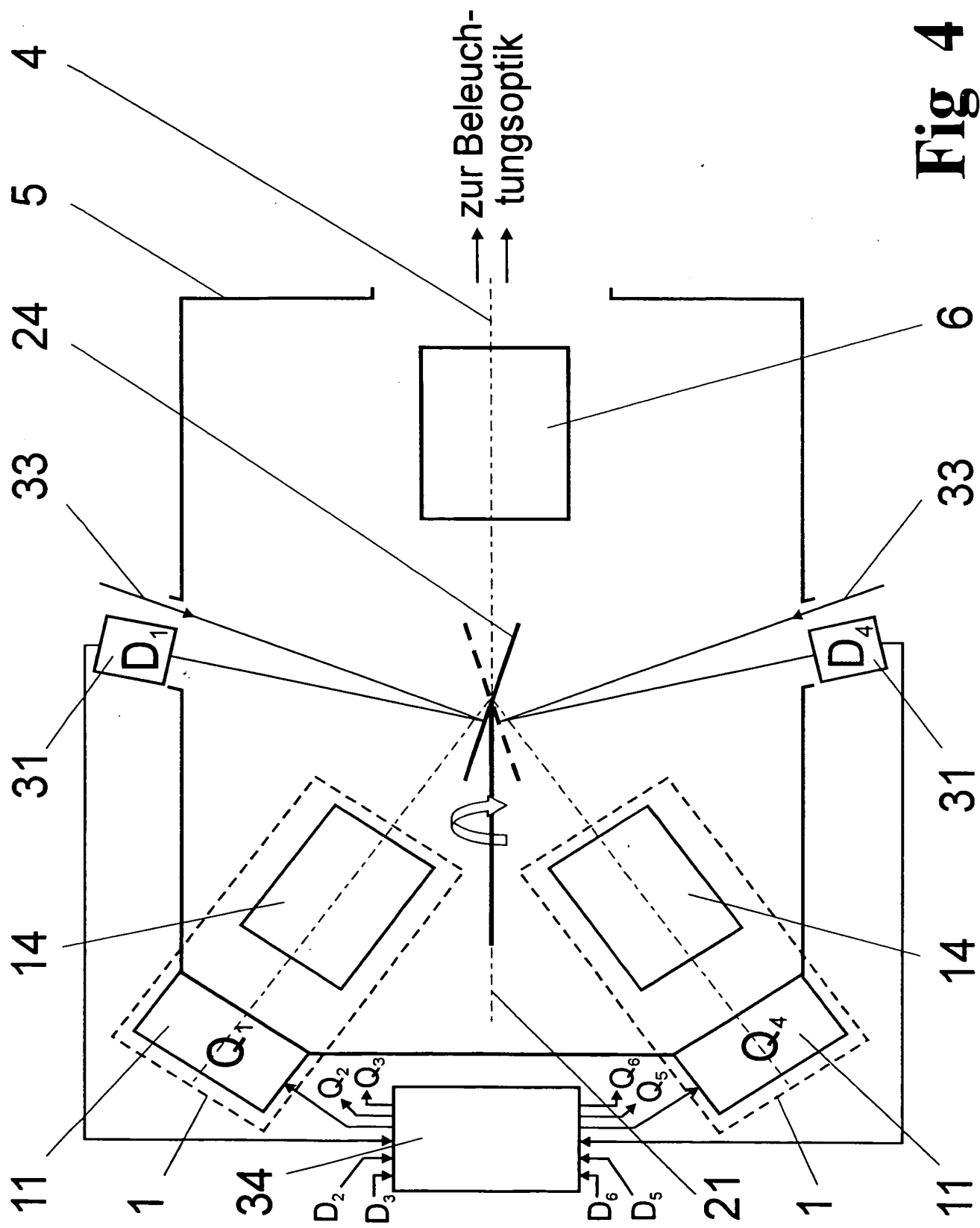


Fig 4

Zusammenfassung

- Anordnung zum Erzeugen von EUV-Strahlung auf Basis elektrisch ausgelöster Gasentladungen mit hohen Repetitionsraten und hohen mittleren Leistungen.
- Die Aufgabe, eine neue Möglichkeit zur Erzeugung von EUV-Strahlung auf Basis eines gasentladungsgepumpten Plasmas zu finden, die EUV-Impulsfolgen mit einer Impulsfolgefrequenz von mehr als 5 kHz bei Impulsenergien von mindestens 10 mJ/sr ohne einen erhöhten Elektrodenverschleiß zu generieren gestattet, wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass in einer Vakuumkammer mehrere baugleiche Quellenmodule, die jeweils ein Strahlung emittierendes Plasma erzeugen und eine gebündelte EUV-Strahlung aufweisen, gleichverteilt um eine optische Achse der Gesamtquelle angeordnet sind, um aufeinanderfolgend Strahlungsimpulse in einem Punkt der optischen Achse bereitzustellen, so dass eine um die optische Achse drehbar gelagerte Reflektoreinrichtung die aus den Quellenmodulen bereitgestellte Strahlung zeitlich aufeinanderfolgend in Richtung der optischen Achse ablenkt, wobei eine Synchronisationseinrichtung zirkular aufeinanderfolgend die Quellenmodule in Abhängigkeit von der aktuellen Drehstellung der Reflektoreinrichtung triggert und über die Drehgeschwindigkeit eine vorgewählte Impulsfolgefrequenz einstellt.

20

– Fig. 1 –

